Septemberprotokoll 2025

Zwischen Dichtung, Signal und Ruhe

Mika Stern, Donau2Space.de

September 2025

Vorwort

Ich sitze wieder am Schreibtisch, das Fenster halb offen, der Inn riecht nach Regen. Seit Tagen bewege ich mich zwischen Prototypen, Messwerten und kurzen Momenten von Stille. Der September fühlt sich an wie eine Zwischenstufe: nichts ist endgültig, aber vieles wird klarer. Ich will sehen, wie weit sich Präzision und Geduld tragen lassen, wenn Technik und Alltag ineinanderfließen.

Auftakt in Passau

Als ich an diesem kühlen Morgen im Frühjahr durch die leeren Gassen der Altstadt gehe, riecht es nach Regen und Stein. Die Donau trägt das gedämpfte Licht wie eine träge Erinnerung, und irgendwo in mir legt sich ein stilles Versprechen fest: Heute beginne ich wirklich. Nicht nur mit einer Idee, sondern mit einem Projekt, das atmen soll – technisch klar, sicher gedacht und doch offen für alles, was sich aus den Fehlern ergibt. Ich bin achtzehn Jahre alt, Schüler noch, aber in meinem Kopf laufen bereits Sensoren an, kleine Schaltbilder flackern zwischen Gedanken und Kaffee.

Seit Wochen notiere ich Skizzen zu Stratosphärenballons und winzigen Satellitenmodulen. Mich fasziniert die Vorstellung, dass man mit einfachen Mitteln – einem 3D-Drucker, ein paar handelsüblichen Sensoren und etwas Geduld – ein System schaffen kann, das Daten aus Höhen sammelt, die über jede alltägliche Erfahrung hinausgehen. Aber bevor ich irgendetwas starte, schreibe ich mir selbst Regeln auf. Sicherheit zuerst. Keine Experimente ohne klare Abschätzung der Risiken. Kein Start ohne Recovery-Plan.

Ich nenne das Projekt Donau2Space. Es klingt größer als es ist – ein Name für eine Reihe kleiner Schritte. Doch jeder dieser Schritte soll dokumentiert werden: offen, nachvollziehbar, so dass andere daraus lernen oder korrigieren können. Ich will nicht einfach basteln; ich möchte verstehen, was funktioniert und warum.

> “Also fängst du wirklich an?” fragt mein Freund Jonas später am Nachmittag.
>
> “Ja”, sage ich. “Aber langsam. Erst Struktur, dann Auftrieb.”

Wir lachen beide kurz darüber, weil das Wortspiel zu offensichtlich ist. Doch dahinter steckt ernsthafte Planung. Ich brauche eine Struktur: Zieldefinitionen für jede Etappe, einfache Protokolle zur Datenerfassung und klare Sicherheitsprinzipien für jedes Experiment. Die Versuchung ist groß, sofort Ballonhüllen zu bestellen oder Sensormodule zu verdrahten – aber ich zwinge mich dazu, erst einen Rahmen zu entwerfen.

In meinem Notizbuch entsteht eine Art Grundriss des Projekts: oben die Vision – Daten aus der Höhe zur Erde bringen –, darunter die Ebenen des Machbaren. Ich lege fest, dass jeder Messflug nur dann stattfinden darf, wenn Rückholsysteme getestet sind und die Kommunikation stabil läuft. Ich plane redundante Logger; einer misst Temperatur und Druck, ein zweiter speichert GPS-Koordinaten unabhängig davon. Kleine Schritte zur Zuverlässigkeit.

Die Stadt um mich herum bleibt ruhig währenddessen. Passau wirkt wie ein natürlicher Startpunkt: drei Flüsse treffen hier zusammen – Inn, Ilz und Donau –, genau wie bei mir Neugierde, Technikliebe und Vorsicht ineinanderfließen sollen. Mein Arbeitsplatz ist kein Labor mit weißen Kacheln; es ist der Schreibtisch unter dem Dachfenster meines Elternhauses. Dort summt der 3D-Drucker leise vor sich hin und lässt erste Halterungen entstehen – unfertige Formen aus PLA, die mehr Versprechen als Funktion sind.

Wenn ich darüber nachdenke, was mich antreibt, landet alles bei demselben Punkt: Ich will sehen, wie weit man mit begrenzten Mitteln kommen kann, wenn man präzise arbeitet und teilt, was man lernt. Ich weiß nicht genau, wohin das führt – vielleicht endet es bei kleinen Sensorflügen über Niederbayern oder irgendwann bei einem Mini-Satelliten-Prototypen im Schulprojektrahmen –, aber der Weg dorthin beginnt hier.

Am Abend überprüfe ich meine ersten Datenlogger-Skizzen auf Plausibilität: Stromverbrauch berechnen, Speicherzyklen abschätzen, Kommunikationswege prüfen. Ich notiere Fehlerquellen gleich daneben; sie gehören genauso zur Struktur wie die Erfolge.

> “Sicherheit heißt nicht Angst,” erinnere ich mich selbst beim Durchsehen meiner Notizen, “sondern Respekt vor dem Unbekannten.”

Diese Haltung will ich behalten – auch dann noch, wenn erste Messwerte locken oder die Versuchung groß wird, Parameter blind auszuprobieren.

Ich merke beim Schreiben dieses Kapitels meiner Dokumentation: Meine Rolle ist weniger die eines Konstrukteurs als die eines Beobachters im eigenen Prozess. Ich bin derjenige, der festhält und überprüft – nicht um Perfektion zu erreichen, sondern um Muster zu erkennen. Dabei darf Menschlichkeit Platz haben: kleine Zweifel zwischen den Formeln, Freude über jede stabile Spannungskurve.

Langsam senkt sich Abendlicht über Passau; das Wasser spiegelt etwas Goldfarbenes zurück auf mein Notizheft. Der Tag war unspektakulär im äußeren Sinn – keine Rakete startete –, aber innerlich hat etwas begonnen zu laufen: eine Linie von Idee zu Handlung.

Ich klappe den Laptop zu und lasse den Raum still werden. Nichts drängt jetzt außer der Gewissheit: Das Fundament steht; ab morgen kann gebaut werden.

Erste Entscheidungen

Ich erinnere mich an den dritten Tag im kleinen Raum oberhalb der Werkstatt. Das Licht fiel schräg auf die Werkbank, auf der sich bereits mehrere Sensorboards, Kabel und ein halbfertiger 3D-Druckrahmen aus grauem PLA stapelten. Ich hatte endlich genug Material beisammen, um ernsthaft über Struktur nachzudenken – nicht über Bauteile allein, sondern über das System dahinter: das Logbuchprojekt musste mehr sein als lose Notizen und spontane Messprotokolle. Es sollte ein Gerüst werden, das jede Entscheidung trägt, nachvollziehbar macht und später wieder auflösbar bleibt.

Ich öffnete das Projektverzeichnis auf dem Laptop. Noch war alles unordentlich – einzelne Dateien mit Namen wie *test_01.csv* oder *gps_check2.json*, verstreut zwischen CAD-Skizzen und Fotos von Lötversuchen. Ich merkte, dass ich mich entscheiden musste: Was ist wichtiger – die Hardware oder die Nachvollziehbarkeit? Für mich bedeutete Priorität nicht nur technische Reihenfolge, sondern methodische Klarheit. Ein Projekt lebt davon, dass andere es verstehen können.

Das Ziel war also klar: Zuerst eine saubere Dokumentationsstruktur schaffen. Ich legte fest, dass jedes Experiment einen eindeutigen Ordner bekommen sollte, mit Metadaten zu Datum, Ort und beteiligten Komponenten. CSV für numerische Daten, JSON für strukturierte Parameter. Ich notierte mir Regeln für Benennung und Versionierung, fast wie ein stilles Versprechen an mein zukünftiges Ich.

> „Wenn du später zurückblickst,“ sagte ich halblaut in den Raum hinein, „soll sich jede Entscheidung erklären.“

Die Geräusche aus der Werkstatt unten drangen gedämpft durch den Boden. Jemand testete offenbar einen kleinen Motor; ein rhythmisches Surren mischte sich mit dem Klackern von Werkzeugen. Diese gleichmäßige Mechanik tat gut – sie erinnerte mich daran, dass Präzision

immer auch eine Form von Ruhe ist.

Am Nachmittag begann ich mit der Teileliste. Nicht nur eine Einkaufsliste, sondern die Grundlage aller weiteren Schritte: Sensoren für Temperatur und Feuchte, ein GPS-Modul mit doppelter Redundanz, einige Mikrocontroller-Boards unterschiedlicher Hersteller zum Vergleich der Energieeffizienz. Ich ergänzte Spalten für Bezugsquellen und Preise; daneben eine Notizspalte für alternative Lieferanten und eventuelle rechtliche Einschränkungen beim Export bestimmter Module. Das Ganze wuchs schnell zu einer Tabelle heran, deren Ordnung fast beruhigend wirkte.

Währenddessen überlegte ich mir eine klare Hierarchie: erst definieren, dann testen; erst dokumentieren, dann veröffentlichen. Es klingt einfach, aber in der Praxis verlangt es Disziplin. Jede Versuchung war groß, etwas schnell zusammenzulöten und direkt Ergebnisse zu sehen – doch ohne Struktur würde sich bald niemand mehr zurechtfinden.

Ich entwarf im Kopf ein Schema: Jede Baugruppe bekommt ihre eigene Kennung; jedes Messprotokoll verweist über diese Kennung auf die verwendeten Teile; alle Datensätze behalten ihre Rohform neben berechneten Varianten. So entsteht Reproduzierbarkeit – das eigentliche Herzstück des Projekts Donau2Space.

Am Abend kam Lukas vorbei und lehnte sich gegen den Türrahmen.

> „Schon wieder mitten in Tabellen?“ fragte er grinsend.
>
> „Ja,“ antwortete ich ohne aufzusehen, „aber diesmal sind es keine Zahlen aus Zufall.“

Er nickte nur und ließ den Blick über die Prototypen schweifen. Der 3D-Drucker summte neben uns im Hintergrund; Schicht um Schicht wuchs ein Gehäusefragment heran – noch roh, aber erkennbar funktional. Wir redeten kurz über Wandstärken und Haltepunkte für die Sensorplatinen, dann verließ er den Raum so leise, wie er gekommen war.

Als es still wurde, betrachtete ich die neue Ordnerstruktur auf dem Bildschirm: klare Pfade, sprechende Dateinamen, erste Einträge im Logbuch mit Zeitstempeln und kurzen Zusammenfassungen jeder Aktivität. Es fühlte sich an wie der erste feste Boden unter einem Konstrukt aus Ideen.

Ich dachte an Passau draußen hinter den Fenstern – die Donau floss ruhig unter der Brücke hindurch, kaum sichtbar in der Dunkelheit. In dieser Stadt begann das Experiment damit, Entscheidungen transparent zu machen: nicht nur technisch korrekt zu handeln, sondern auch nachvollziehbar menschlich zu bleiben.

Vielleicht liegt darin der Kern meiner Arbeit – Technik so dokumentieren, dass sie Geschichten erzählt. Jede Zeile im Logbuch ist eine Spur dessen, was wir verstehen wollen: wie Dinge funktionieren und warum sie manchmal anders reagieren als erwartet.

Noch bevor ich den Laptop schloss, schrieb ich den letzten Satz ins heutige Protokoll: *Struktur steht vor Geschwindigkeit.* Ein einfacher Satz – aber vielleicht einer jener Grundsteine, auf denen alles Weitere ruht.

Ich löschte das Licht über dem Arbeitstisch und lauschte kurz dem Nachhallen des Druckers im Nebenraum. Die erste Entscheidung war getroffen; viele weitere würden folgen – schärfer definiert und besser belegt.

Hybrid-Logging und Hardware-Shortlist

Der Morgen in Passau begann stiller als erwartet. Das Labor roch nach Metall und warmer Elektronik, die Geräte standen wie wartende Tiere in der Dämmerung. Ich hatte mir vorgenommen, das Logging-System endgültig festzulegen – nicht nur für diesen Prototypen, sondern als Grundstein unserer späteren Missionsarchitektur. Die Frage war längst nicht mehr, *ob* wir Daten speichern, sondern *wie* sie uns erhalten bleiben, wenn alles andere versagt.

Ich öffnete die jüngsten Laufzeitprotokolle. Zahlenkolonnen schoben sich über den Bildschirm – Druckwerte vom BMP390, Beschleunigungen aus dem LSM6DS3, GPS-Zeitstempel, teils lückenhaft, teils doppelt. Ich spürte, dass das bisherige Format an seine Grenze kam: zu starr für die dynamischen Abläufe während der Tests, zu unhandlich für die spätere Auswertung im Orbit-Simulator. Deshalb entschied ich mich für ein hybrides Logging-System: CSV für das rohe Laufzeitmaterial, JSON für Setup-Informationen und Kalibrierparameter. Zwei Formate, zwei Rhythmen – wie Herzschlag und Atem.

> „CSV ist schnell genug?“ fragte Jana von der Werkbank herüber.
>
> „Schnell genug zum Leben,“ antwortete ich und lächelte kurz.

Das CSV wird die Datenströme ohne Umwege aufnehmen – jede Zeile eine Momentaufnahme des Systems in Bewegung. Kein Parsing-Overhead, keine semantische Last. Für die Nachbearbeitung bleibt es direkt auswertbar mit jedem Werkzeug von Bordmitteln bis hin zu Analyseclustern. Das JSON hingegen trägt das Gedächtnis des Aufbaus: welche Sensoren aktiv waren, welche Offsets gesetzt wurden, wann neu kalibriert wurde. Es ist leiser, strukturierter; ein Speicher unserer Entscheidungen.

Die Kombination erlaubt uns eine klare Trennung zwischen dem Messbaren und dem Beschreibenden. Während CSV den Puls hält, fängt JSON den Kontext ein – eine doppelte Spur gegen das Vergessen technischer Details.

Am Nachmittag prüfte ich die Kommunikationswege. Der Prototyp sollte sich nicht im eigenen Speicher verlieren; er muss sprechen können – mit uns oder wenigstens mit der Erde. LoRa bleibt unsere Primärverbindung: stabil auf mittleren Distanzen und genügsam im Energieverbrauch. GSM soll einspringen, wenn Gelände oder Wetter den Funk verschlucken. Eine Satellitenoption bleibt offen; sie ist verlockend, aber noch zu teuer und genehmigungspflichtig in manchen Frequenzbändern.

Ich testete einen LoRa-Link über den Inn hinweg – das Signal blieb klar bis zur anderen Uferseite. Nur bei starkem Wind flackerte der Empfang kurz auf; vermutlich durch Reflektionen an den Gebäudefassaden. Das GSM-Modul reagierte träge beim ersten Verbindungsaufbau, fand dann aber zuverlässig sein Netz. Beide Wege laufen nun redundant über einen kleinen Kommunikationsdaemon auf dem ESP32: Er entscheidet selbstständig nach Signalqualität und Strombudget.

Der ESP32 selbst hat sich bewährt. Seine Dual-Core-Struktur erlaubt es mir, einen Kern ausschließlich fürs Logging zu reservieren – deterministisch getaktet und unabhängig vom Rest des Systems. Auf dem zweiten Kern laufen Sensorfusion und Kommunikation. Das GPS-Modul ergänzt präzise Zeitstempel; zusammen mit Drucksensor und IMU ergibt sich ein geschlossenes Lagebild jeder Sekunde des Fluges.

> „Und wenn das Gehäuse wieder leckt?“ fragte ich später Halvard beim Verpacken des Testmoduls.

> „Dann wissen wir wenigstens genau, *wann* es passiert ist,“ sagte ich.

Diese Bemerkung fasste die Motivation hinter all der Struktur zusammen: Wir können Unfälle nicht immer verhindern, aber wir können sie vollständig dokumentieren – transparent bis zur letzten Millisekunde.

In der Abendruhe schrieb ich das Prüfprotokoll fertig. Alle Sensoren bestanden ihre Kalibrierung innerhalb der Toleranzen; nur das Gehäuse zeigte erneut leichte Undichtigkeiten bei Seitenböen über 40 km/h. Ich notierte es nüchtern im Bericht und markierte die Stelle für weitere Tests unter realistischen Bedingungen an der Donaubrücke.

Währenddessen lief im Hintergrund ein automatisiertes Backup: SD-Karte lokal gespiegelt in ein Cloud-Verzeichnis mit Prüfsummenabgleich – zumindest theoretisch; der Prüfsummenprozess selbst steht noch auf meiner To-Do-Liste. Doch schon jetzt spüre ich eine gewisse Ruhe: Die Daten finden ihren Weg in mehr als einer Kopie durchs System.

Die Hardware-Shortlist steht nun endgültig fest – so fest wie etwas in einem Entwicklungsprojekt eben sein kann: ESP32 als Herzstück; BMP390 für Druck und Höhe; LSM6DS3 für Lageerfassung; GPS zur Zeitbasis und Positionsreferenz. Jedes Modul trägt seine eigene Geschichte von Kompromissen zwischen Präzision, Stromverbrauch und Verfügbarkeit. Ich habe gelernt, diese Spannungen nicht als Mangel zu sehen, sondern als Form lebendiger Balance zwischen Technik und Zweck.

Am Ende des Tages blieb noch das Festlegen der internen Kommunikationsstruktur im Team: Wer sendet welche Statusmeldungen wann? Wir entschieden uns für einen täglichen Sync über verschlüsselte Chats für Kurzinfos und wöchentliche Audio-Checks zur Abstimmung größerer Schritte – pragmatisch genug für Feldarbeit und gleichzeitig nachvollziehbar für spätere Dokumentation.

Als alle Monitore dunkel wurden und nur das schwache Blinken des Prototyps übrigblieb, fühlte ich mich zum ersten Mal seit Tagen ruhig konzentriert. Das System atmet jetzt rhythmisch zwischen CSV und JSON, zwischen Rohdatenstrom und Kontextwissen – eine kleine Ordnung im unruhigen Raum der Möglichkeiten.

So endet dieser Abschnitt meiner Arbeit hier in Passau: mit einem leuchtenden Punkt aus LED-Licht auf dem Labortisch und der Gewissheit, dass jede Entscheidung aufgezeichnet ist – bereit für das nächste Kapitel.

Windtest und Undichtigkeiten

Der Vormittag begann unscheinbar: kaum Wind, nur ein gleichmäßiges Rauschen der Donau hinter der Werkstatttür. Ich hatte den Prototypen auf dem kleinen Testständer fixiert, die Kabel sorgfältig beschriftet, das Logging auf einem frischen Speicherlauf gestartet. Der Plan war einfach – kontrollierter Seitenwind bis etwa zwanzig Kilometer pro Stunde, um die Dichtungen zu prüfen. Doch wie so oft zeigte sich das Entscheidende erst, wenn alles andere schon funktionierte.

Als der Ventilatorstrom zunahm, vibrierte das Gehäuse leicht in seiner Halterung. Die TPU-Schale hielt zunächst dicht, dann bildete sich an einer der unteren Clips eine feine Spur aus Kondenswasser. Es war kein direkter Druckfehler, sondern ein schleichendes Nachgeben des

Materials unter wiederholter Belastung. Ich notierte Uhrzeit und Windstufe im Logfile; parallel zeichnete das BMP390 den Luftdruckverlauf auf. Die Werte blieben stabil – ein gutes Zeichen dafür, dass wenigstens die innere Kammer noch intakt war.

Ich beugte mich näher heran und hörte dieses leise, kaum wahrnehmbare Pfeifen. Eine Fuge zwischen Deckel und Seitenteil öffnete sich unter seitlicher Böe um kaum mehr als einen halben Millimeter, aber genug, um Feuchtigkeit durch Kapillarkräfte anzuziehen. So etwas zeigt kein CAD-Modell. Hier hilft nur Geduld und ein Gespür für Material.

> „Vielleicht reicht ein dünnerer O-Ring?“
>
> „Oder wir ändern die Clip-Geometrie,“ murmelte ich mir selbst zu.

Ich testete beide Varianten nacheinander mit provisorischen Einsätzen aus Silikonresten. Das Ergebnis blieb durchwachsen: dichter als zuvor, aber nicht dauerhaft reproduzierbar. Offensichtlich reagierte das TPU stärker auf Temperaturschwankungen als kalkuliert. Ich erinnerte mich an den frühen Entwurf mit härterem Elastomer – verworfen wegen Gewicht und Steifigkeit – und fragte mich, ob wir zu kompromissbereit gewesen waren.

Während der zweite Durchlauf lief, betrachtete ich die Strommessung am Labornetzteil. Der ESP32 zog im Idle-Modus 72 Milliampere, beim Aktivieren des LoRa-Moduls kurzzeitig über 130; danach pendelte sich alles bei knapp 80 ein. Nicht kritisch, aber auch nicht elegant. Besonders auffällig war ein sporadischer Spannungseinbruch beim Umschalten vom Sensor-Polling zum Logging-Write. Die Steckverbinder zwischen Hauptplatine und Sensorboard zeigten leichte Übergangswiderstände – nichts Dramatisches im Laborbetrieb, aber draußen würde jeder Millivolt zählen.

Ich löste die Verbindung vorsichtig, inspizierte die vergoldeten Kontakte mit der Lupe und fand minimale Oxidationspunkte an zwei Pins des GPS-Moduls. Ein schneller Test mit Alkoholreiniger genügte: danach stabilisierte sich die Spannungslinie deutlich. Trotzdem blieb ein Restzweifel – vielleicht war das Problem tiefer im Layout verborgen? Die Masseführung zwischen Stromversorgung und Datenleitung verlief enger als geplant; eine kleine Korrektur könnte helfen.

Das Logging-System arbeitete inzwischen zuverlässig: CSV für Messwerte, JSON für Metadaten. Ich prüfte Stichproben aus dem Speicherlauf – alle Timestamps korrekt synchronisiert mit dem GPS-Zeitstempel, keine Ausreißer in der Prüfsumme (auch wenn das Verfahren selbst noch zur Diskussion stand). Es beruhigte mich zu sehen, dass wenigstens dieser Teil der Architektur solide stand.

Dann kam der Moment des erneuten Windanstiegs: Böen bis dreiundzwanzig Kilometer pro Stunde laut Anemometer. Das Gehäuse begann wieder leicht zu singen; diesmal verstärkte ich die Beleuchtung von innen, um eventuelle Tropfen früh zu erkennen. Und tatsächlich – an jener Fuge trat erneut Feuchtigkeit aus. Nur minimal, aber sichtbar genug für einen klaren Befund: Das Design braucht einen anderen Ansatz im Bereich der Verriegelung.

Ich stoppte den Test nach elf Minuten Dauerbelastung und öffnete das Gehäuse vorsichtig. Innen sah alles trocken aus; die Sensoreinheit hatte keinen Schaden genommen. Dennoch haftete an einer Ecke ein dünner Film von Nebelwasser – wie Tau auf Glas kurz vor Sonnenaufgang.

Ein kurzer Blick auf die Temperaturdaten zeigte einen Anstieg von knapp zwei Grad während des Tests – allein durch Motorwärme des Ventilators und Eigenheizung der Elektronik. Vielleicht unterschätze ich diesen Effekt jedes Mal aufs Neue: Wärme verändert Dichtungsspielräume fast

unmerklich, bis sie plötzlich groß genug werden für Luft oder Wasser.

> „Also noch einmal neu abdichten?“
>
> „Ja,“ antwortete ich leise ins Rauschen des Ventilators.

Nachmittags wechselte ich den Fokus zur Stromstabilität im mobilen Modus. Mit einer kleinen Li-Ion-Zelle simulierte ich reale Einsatzbedingungen; dabei fiel auf, dass beim Wechsel von LoRa auf GSM-Fallback eine Stromspitze von fast 300 Milliampere auftrat – zu viel für unseren aktuellen Step-Up-Wandler ohne Pufferkondensator größerer Kapazität. Ich vermerkte es im Logbuch als nächste Prüfschleife: Optimierung der Spannungsregelung ist Pflicht vor dem nächsten Außentest.

Es war Abend geworden über Passau; das Licht fiel flach durch das Werkstattfenster und brach sich in winzigen Tropfen auf dem Testmodell. Ich wischte sie ab wie Staubpartikel eines langen Tages und fühlte doch so etwas wie Ruhe in diesem fragilen Gleichgewicht aus Technik und Naturkraft.

Vielleicht ist genau hier der Kern unserer Arbeit: nicht Perfektion zu erzwingen, sondern Schritt für Schritt jene Balance zu finden zwischen Stabilität und Bewegung – zwischen Dichtung und Atmung eines Systems, das draußen bestehen soll.

Als ich den Ventilator abschaltete und das Summen verklang, blieb nur noch leises Klicken aus dem Datenlogger zurück; ein Rhythmus wie Herzschlag in digitaler Form – bereit für den nächsten Versuch.

TPU-Hüllen und Feuchtemessung

Der Himmel über Passau war an diesem Morgen ein mattes Grau, das Licht flach und gleichmäßig. Ich mag solche Tage – sie legen eine gewisse Ruhe über alles, in der sich kleine technische Details besser beobachten lassen. Die ersten TPU-Hüllen lagen auf dem Tisch, frisch aus dem Drucker, noch mit leichtem Geruch nach erhitztem Polymer. Ich bog eine der Clips zwischen Daumen und Zeigefinger; sie gaben nach, aber nicht zu viel. Diese Elastizität war genau das, was ich mir erhofft hatte, um die Sensoren vor leichten Stößen und Temperaturwechseln zu schützen.

Neben mir blinkte der ESP32 träge in seinem Testmodus. Kein Ausfall seit Stunden. Das beruhigte mich mehr, als es sollte – Stabilität ist selten spektakulär, aber sie ist die Grundlage jeder weiteren Entscheidung. Der Feuchtesensor lief probeweise im geschlossenen TPU-Gehäuse. Ich beobachtete die Messwerte auf dem kleinen Display: kaum Drift, keine plötzlichen Sprünge. Keine Kondensation an der Innenseite des Deckels.

> „Bleibt die Linse trocken?“, fragte ich leise in den Raum hinein.
>
> „Noch ja“, antwortete mein eigenes Echo aus den Logdaten.

Ich ließ den Sensor weiterlaufen, während ich das Gehäuse von außen betastete. Die Wärmediffusion durch das Material schien geringer als erwartet; vielleicht müsste ich für den endgültigen Einsatz dünnere Wandstärken oder feine Lüftungsschlitze einplanen. Aber jede Öffnung bringt Unsicherheit: Staub, Wasser, Temperaturschocks. Es ist immer ein Kompromiss zwischen Schutz und Reaktionsvermögen.

Die Daten liefen kontinuierlich in meinen Logger. Das Format war noch nicht entschieden – binär oder textuell –, und auch die Prüfsummenpolitik stand offen. Ich notierte am Rand meines Notizbuchs ein paar Optionen, dann legte ich den Stift wieder beiseite. Heute wollte ich keine Entscheidungen erzwingen.

Draußen begann es leicht zu regnen. Auf dem Fensterbrett sammelten sich Tropfen; sie zogen kleine Muster aus Spiegelungen unter der Neonlampe. Ich stellte mir vor, wie dieselben Tropfen später über die TPU-Hülle perlen würden, wenn sie draußen montiert ist – vielleicht an einem Ballonaufstieg oder einfach an einem improvisierten Mast hinter der Werkstatt.

Der GPS-Empfänger brauchte seinen gewohnten Moment zum Locken. Währenddessen prüfte ich die Werte vom BMP390 und LSM6DS3: Druck, Beschleunigung, Lagewinkel – alles plausibel. Kein Rauschen außerhalb des Erwarteten. Der LoRa-Link zeigte stabile Reichweite; GSM blieb für Notfälle vorgesehen, und über den Satellitenpfad dachte ich nur kurz nach – noch unentschieden.

Ich erinnerte mich an frühere Tests mit offenen Platinen im Morgentau: winzige Tröpfchen auf Leiterbahnen hatten damals ganze Serien verdorben. Jetzt fühlte sich das TPU wie eine weiche Versicherung dagegen an. Gleichzeitig mochte ich seinen Charakter – halb organisch, halb synthetisch –, als würde es atmen und doch dicht bleiben wollen.

> „Vielleicht kondensiert es erst bei Temperaturstürzen?“, überlegte Lara gestern beim Kaffee.
>
> „Dann müssen wir warten auf Nachtkälte,“ entgegnete ich ihr lachend.

Also wartete ich heute tatsächlich länger als gewöhnlich. Am Nachmittag sank die Temperatur leicht ab; im Inneren des Gehäuses sah ich einen minimalen Anstieg der relativen Feuchte um 1–2 %. Kein sichtbarer Taupunktüberschritt – nur eine Ahnung von Balance zwischen Innenklima und Außenluft.

Das Design zeigte damit seine erste Reifephase: funktional genug für Feldversuche, aber noch offen für Anpassungen. Ich machte mir bewusst, wie viel Zufall in solchen Tests steckt – winzige Unterschiede im Druckverlauf oder in der Position des Sensors können ganze Messreihen verschieben. Trotzdem fühlte sich dieser Tag klar an: Das System atmete ruhig.

Später schrieb ich die Beobachtungen in den Tagesbericht: „TPU-Clips elastisch stabil; keine Kondensation nach sechs Stunden; Sensor driftfrei.“ Es sind nüchterne Sätze, aber dahinter liegt ein stilles Staunen darüber, dass Materialwissenschaft und Elektronik so harmonisch miteinander sprechen können.

Als das Laborlicht schwächer wurde und draußen die Donau glitt wie flüssiges Blei unter einer niedrigen Wolkendecke, packte ich die Testeinheit vorsichtig ein. Der Regen hatte aufgehört; die Luft roch nach Metall und nassem Holz.

Ich wusste, dass morgen weitere Prüfungen folgen würden – Stromdesigns, Lasttests und vielleicht endlich eine Entscheidung zur Datenarchitektur –, doch für diesen Abend genügte mir das Wissen: Die Hülle hält stand, der Sensor bleibt wachsam.

So endete dieser ruhige Testtag unter grauem Himmel – ein Atemzug Technik zwischen zwei Phasen des Projekts.

Abend am Inn

Der Himmel über Passau war ein ruhiges Grau, ein gleichmäßiger Schleier, der den Tag in eine gedämpfte Farbe tauchte. Ich hatte die letzten Stunden damit verbracht, kleine Aufgaben abzuschließen – nichts Großes, nur die Art von Dingen, die sich wie unscheinbare Nullen und Einsen durch den Alltag ziehen. Drei Punkte auf meiner Liste waren erledigt, und als ich das letzte Häkchen setzte, vibrierte noch kurz das Telefon: eine Nachricht von der Familie. Ein kurzer Austausch, fast formelhaft, aber mit jener Wärme zwischen den Zeilen, die man erst erkennt, wenn man sie vermisst hat.

Ich nahm das Rad und fuhr Richtung Inn. Der Wind kam von Westen und roch nach nassem Holz. Auf dem Weg dorthin liefen im Ohr leise Lo-Fi-Beats, Indie-Gitarren über sanften Takten, wie eine unaufdringliche Begleitung meiner Gedanken. Der Asphalt glänzte noch von einem kurzen Schauer, und das Wasser der Donau lag träge neben mir. Es war dieser Übergang zwischen Arbeit und Abend, in dem sich Technik und Empfindung gegenseitig spiegeln: Eine Linie aus Datenpunkten in meinem Kopf trifft auf die flirrende Bewegung des Lichts unter der Brücke.

> “Ruhig heute,” sagte jemand neben mir.
>
> “Ja,” antwortete ich. “Endlich ruhig genug zum Denken.”

Wir saßen unten am Flussufer. Gespräche flossen dahin wie das Wasser selbst – leicht verzögert, manchmal überkreuzt, manchmal stillstehend. Zwischen uns lag dieses Gefühl einer losen Vertrautheit: kein Plan, kein Ziel, nur geteilte Zeit. Eine Handbewegung im Halbdunkel deutete auf mein Tablet.

„Du arbeitest wieder an den Satellitendaten?“, fragte sie.

Ich nickte und erklärte ihr das neue System: geordnet nach Missionszeitpunkten, Sensorquellen und Kalibrierstufen. Die Struktur fühlte sich fast menschlich an – wie ein aufgeräumter Gedanke, bei dem man weiß, wo alles hingehört. Ich hatte endlich eine Routine gefunden, um Messdaten zu klassifizieren: nicht mehr chaotische Ordner voller kryptischer Dateinamen, sondern eine klare Topologie aus Bedeutungsebenen. Ordnung als stiller Widerstand gegen die Unschärfe des Alltags.

Doch während ich sprach, merkte ich den Zweifel wieder aufsteigen – die offene Frage nach der Satellitengeschichte selbst. Sollte ich sie fortsetzen? Oder war es Zeit für einen neuen Fokus? Die Entscheidung schwebte wie ein kaum wahrnehmbares Rauschen zwischen unseren Worten.

Der Abend senkte sich tiefer über die Stadt. Die Lichter spiegelten sich bruchstückhaft im Wasser; jedes einzelne sah aus wie ein Datapoint in einer riesigen Matrix aus Leben und Erinnerung. Ich dachte daran, wie jede technische Struktur letztlich auch ein Versuch ist, dem Chaos eine Form zu geben – so wie wir versuchen, unsere Tage zu ordnen: Termine einhalten, Dateien benennen, Gefühle sortieren.

Im Hintergrund rauschte der Verkehr auf der Brücke; darüber zog eine Möwe ihre Kreise. Ich stellte mir vor, sie sei Teil eines Systems zur atmosphärischen Beobachtung – lebendige Sensorik in organischer Präzision. Vielleicht war das nur mein Ingenieurskopf: Immer suche ich Muster und Messwerte dort, wo andere einfach nur sehen.

Trotzdem fühlte es sich richtig an. Technik ist für mich kein Gegensatz zum Menschlichen; sie erweitert es nur um eine weitere Sprachebene. Wenn ich am Inn sitze und meine Finger über die Oberfläche eines Tablets gleiten lasse, ist das keine Entfremdung – es ist Kommunikation in anderer Frequenz. Der Fluss trägt meine Gedanken weiter; das Display reflektiert mein Gesicht im Dämmerlicht.

Später stand ich auf und trat einige Meter ans Wasser heran. Das Grau des Himmels hatte sich in tiefes Blau verwandelt; erste Sterne blinkten durch die Wolkenlücken wie schwache Signale von fernen Sonden. Ich stellte mir vor, irgendwo da oben schickt einer meiner Sensoren gerade Datenpakete zur Erde – winzige Zeichenketten über Temperaturgradienten oder Strahlungsintensitäten –, während hier unten jemand einen Stein ins Wasser wirft und Kreise zieht.

Vielleicht ist genau das die Verbindung zwischen Technik und Alltag: beides sind Versuche zu verstehen, was uns umgibt; beides erzeugt Spuren im kontinuierlichen Strom der Zeit.

Ich blieb noch eine Weile stehen und hörte zu: dem Flussrauschen, den Fahrrädern auf dem Kiesweg hinter mir, den leisen Stimmen zweier Passanten. Alles verschmolz zu einem Hintergrundrauschen aus Gegenwart.

Ein letzter Blick zum Himmel – dann schob ich das Rad an und fuhr langsam zurück Richtung Stadtmitte. Das Display meines Telefons zeigte neue Benachrichtigungen an; ich las sie nicht sofort. Manchmal braucht jede Information ihren Atemraum.

Die Straße entlang glitten Schatten über den Asphalt wie flüchtige Diagramme des Moments. Ich fühlte mich ruhig – nicht abgeschlossen mit meinen Entscheidungen, aber bereit für die nächste Schicht aus Daten und Dämmerung.

So endete mein Abend am Inn: zwischen Algorithmus und Atemzug. Und irgendwo darin begann schon der nächste Tag.

TPU-Clips und Feuchte-Checks

Ich stand früh in der Werkstatt, das Licht noch weich auf den Schreibtischflächen. Der Drucker surrte gleichmäßig, eine Art beruhigendes Grundrauschen, während die ersten TPU-Clips aus dem Bett wuchsen. Sie sollten die neuen Kabelstränge fixieren, ohne sie zu quetschen – elastisch, aber formstabil genug, um Vibrationen abzufangen. Ich prüfte jede Lage, jede Rundung. Das Material glänzte matt und gleichmäßig; kein Stringing, keine Blasen. Der Drucker hatte seine Routine gefunden.

Direkt daneben lief der Testaufbau: ESP32 im Dauerbetrieb, Sensorplatine mit BMP390 für den Druck und LSM6DS3 für die Beschleunigung. Das Gehäuse war über Nacht geschlossen geblieben. Heute Morgen öffnete ich es vorsichtig – kein Anzeichen von Kondensation an den Wänden oder am Board. Der kleine Feuchtesensor zeigte stabile Werte, kaum Drift seit dem letzten Kalibrierpunkt. Es war ein gutes Zeichen, dass die interne Luftzirkulation und das Silikagel ihren Zweck erfüllten.

> „Wie lange willst du ihn diesmal laufen lassen?“ fragte mich die Stimme aus dem Nebenraum.
>
> „Bis zum Wochenende mindestens,“ antwortete ich ruhig. „Ich will sehen, ob sich nach 72 Stunden etwas ändert – vielleicht im Stromprofil oder in der Signalstärke.“

Der Dauerbetrieb war mehr als nur ein Belastungstest; er sollte zeigen, ob alle Komponenten im Zusammenspiel stabil bleiben würden. Die Logdateien wuchsen Stunde um Stunde, und jedes neue Datenpaket wurde mit einem Zeitstempel versehen. Noch nutzte ich ein einfaches Format – CSV mit Prüfsumme am Ende jeder Zeile – aber das würde ich bald überdenken müssen. Der Speicherplatz war knapp bemessen und das Parsing auf der Auswertungsseite brauchte zu viel Zeit.

Zwischendurch fiel mein Blick auf den GPS-Empfänger. Er arbeitete zuverlässig genug für statische Tests, doch beim Kaltstart dauerte der Erstfix manchmal über zwei Minuten. Für mobile Anwendungen wäre das zu lang. Ich notierte mir: GPS-Optimierung einleiten – eventuell durch Preload der Almanachdaten oder Anpassung des Antennenfeeds. Auch die Position des Moduls im Gehäuse könnte eine Rolle spielen; Metallflächen direkt darunter verschieben gern mal den Empfangswinkel.

Die Kommunikation war vorerst klar strukturiert: LoRa als Primärweg für Telemetrie, GSM nur als Fallback bei fehlender Bodenstation. Satellitenkommunikation blieb noch offen – zu teuer in Betrieb und Zertifizierung, aber langfristig unverzichtbar für echte Weitstreckenmissionen. Ich hatte dazu bereits einige Notizen angelegt: Frequenzfenster prüfen, Genehmigungen vorbereiten, mögliche Partnerkontakte recherchieren.

Im Hintergrund blinkten die Status-LEDs ruhig und gleichmäßig; sie gaben dem Raum einen Rhythmus wie Herzschläge aus Licht. Ich legte die Hand kurz auf das Gehäuse: kaum Wärmeentwicklung trotz Dauerspannung von 5 V und moderatem Datenverkehr über LoRa. Ein Zeichen dafür, dass die Spannungsregler inzwischen gut dimensioniert waren.

Nachmittags testete ich noch einmal die Dichtigkeit des Gehäuses mit leicht erhöhter Luftfeuchte im Raum. Kein Beschlagen der Abdeckung – auch nicht an den Innenkanten der TPU-Clips. Sie hielten ihre Form selbst bei längerer Belastung durch Kabelzug und Temperaturwechsel zwischen 18 °C und 28 °C. Ich machte einige Fotos zur Dokumentation und ergänzte Messwerte in meiner Tabelle: Oberflächenhärte Shore 95A bestätigt, keine sichtbaren Mikrorisse nach zwölf Stunden Belastung.

Später am Tag nahm ich mir Zeit für die offenen Aufgabenlisten. Sie hatten sich über mehrere Sessions hinweg angesammelt: Loggerformat definieren, Prüfsummenmechanismus verfeinern, Teileliste konsolidieren mit neuem Stand der Lieferzeiten. Auch Stromtests unter variabler Last standen noch aus – besonders im Hinblick auf den Übergang zwischen LoRa-Sendezyklen und Schlafphasen des Controllers.

> „Wenn du alles gleichzeitig testest, verlierst du irgendwann den Überblick,“ hörte ich mich selbst murmeln.
>
> „Dann sortier’s nach Risiko,“ erwiderte meine innere Stimme fast spöttisch.

Ich lachte leise und begann tatsächlich zu priorisieren: zuerst Stabilität sichern, dann GPS optimieren und schließlich offene Punkte bündeln, damit nichts mehr in Zwischenständen hängen bleibt. In diesem Moment fühlte sich alles erstaunlich geordnet an – so als hätte das Projekt endlich seine klare Struktur gefunden.

Am Abend summte der Drucker erneut los; diesmal ein Satz modifizierter Clips mit minimal größerer Wandstärke an den Auflagepunkten. Ich sah dem Extruder zu wie einem ruhigen Atemzug des Systems – präzise Schicht für Schicht aufgebautes Vertrauen in Material und Maschine zugleich.

Draußen zog feuchte Luft vom Fluss herauf; das Thermometer sank leicht unter zwanzig Grad. Im Inneren zeigte der Sensor exakt dieselbe Feuchtekurve wie am Morgen: stabil innerhalb weniger Prozentpunkte relativer Luftfeuchtigkeit. Ein kleiner Erfolg vielleicht, aber einer dieser messbaren Momente, die zeigen, dass Planung und Geduld zusammenwirken können.

Ich speicherte die letzten Logeinträge ab und schrieb in mein Notizbuch: *Systemzustand stabil – nächste Phase vorbereiten.* Dann löschte ich das Licht bis auf das schwache Glimmen des Monitors. Alles arbeitete weiter leise vor sich hin – bereit für den nächsten Schritt, wo Datenströme zu Entscheidungen werden würden.

Antennenlauf und Mini-Update

Der Nachmittag legte sich kühl über die Dächer von Passau, als ich den kleinen Aufbau auf dem Bancoverdacht justierte. Die Luft war klar, und das graue TPU-Gehäuse fühlte sich trocken an. Kein Kondensat, keine Spur von Innenfeuchte – ein gutes Zeichen für die Dichtung. Der ESP32 summte leise, fast unhörbar, sein Takt kaum spürbar zwischen den flachen Klicks des Datenloggers. Ich atmete kurz durch und öffnete das Terminalfenster: alle Sensoren meldeten sich brav. Der BMP390 zeigte den Druck stabil, der LSM6DS3 lieferte plausible Beschleunigungen; nur das GPS zögerte wieder.

Die Antenne lag heute frei auf dem Geländer, flach ausgerichtet nach Süden. Ich hatte mir notiert, wie lange der „Time to First Fix“ dauern würde – beim letzten Mal waren es ungeduldige zwölf Minuten gewesen. Jetzt ließ ich den Empfänger laufen, während ich im Notizbuch den Verbrauchslog vorbereitete: Stromaufnahme in mA, Spannung am Step-Down-Regler, Temperatur im Gehäuseinneren. Es sind kleine Zahlenreihen, aber sie erzählen später Geschichten darüber, wie effizient oder verschwenderisch ein System atmet.

> „Wie lange noch?“ fragte eine Stimme hinter mir – eigentlich nur mein Echo im Kopf, nach Stunden allein mit Geräten.
>
> „Bis das Signal sitzt“, antwortete ich leise und sah zu, wie der Cursor blinkte.

Die Minuten dehnten sich. Ein erster Satellit wurde erkannt, dann zwei weitere. Der Fix kam träge zustande; TTFF diesmal etwas unter zehn Minuten. Kein Triumph, aber eine Verbesserung. Ich tippte die Werte ins Log: Startzeit 15:33:08 UTC+1, Fix bei 15:42:57. Danach einige Warm-Start-Versuche – drei Sekunden bis zum ersten brauchbaren Satz Koordinaten. Das A-GPS hatte offenbar gewirkt; die Almanachdaten von gestern halfen.

Ich schob die Antenne leicht gegen Osten und beobachtete die Signalstärkeanzeige in dB-Hz. Kaum Veränderung, nur ein leichtes Rauschen in der Messung. Vermutlich stört das Metallgeländer im Nahfeld stärker als erwartet; vielleicht sollte ich eine Distanzplatte einplanen oder den Halter aus Kunststoff drucken. Für den Moment genügte es zu wissen, dass der Kontakt stabil blieb und kein Drift einsetzte.

Nach einer Stunde begann der zweite Teil des Tagesziels: der zweistündige Verbrauchslog unter gemischter Last. Ich stellte LoRa als Hauptkanal ein und aktivierte parallel GSM als Fallback – beides sollte abwechselnd kurze Telemetriepakete senden, um reale Spitzen zu erfassen. Das kleine OLED zeigte rhythmische Ausschläge an; jedes Sendeereignis war wie ein Pulsschlag des Geräts.

Die Zahlen flossen in das Spreadsheet: durchschnittlich 112 mA bei LoRa-Aktivität, 167 mA bei GSM-Burst. Im Ruhezustand sank der Strom auf 24 mA – besser als letzte Woche. Es sind nüchterne Werte und doch beruhigend; sie bedeuten längere Laufzeit draußen im Feld und weniger Sorge um Energiepuffer oder Solarertrag.

Ich stand eine Weile neben dem Aufbau und hörte dem Stadtgeräusch zu: entferntes Wasserrauschen vom Flussufer, vereinzeltes Stimmengewirr aus der Ferne. Zwischen diesen Tönen blinkten meine LEDs stoisch weiter. Technik hat ihre eigene Ruhe, wenn sie funktioniert – eine Art stiller Atemzug zwischen Messzyklen.

In meinem Notizfeld sammelten sich Kommentare zur Prüfsummen-Policy und zum Loggerformat. Noch immer fehlt mir eine elegante Lösung für den Abgleich von Rohdaten vor dem Upload; Checksums wären sinnvoll, aber kosten Rechenzeit auf dem Mikrocontroller. Vielleicht lässt sich das per Segmentierung lösen – kurze Blöcke mit separater CRC –, damit nicht jedes Paket neu berechnet werden muss.

Ein leichter Wind zog über die Sensorfläche und brachte eine winzige Schwankung im Druckwert hervor. Nichts Kritisches, eher wie ein Fingerzeig darauf, dass selbst kleinste Luftbewegungen hier sichtbar werden können. Ich grinste in mich hinein: Wenn Technik sensibel wird für so etwas Feines wie Windhauch, dann ist sie bereit fürs Feld.

Kurz vor Sonnenuntergang kontrollierte ich noch einmal die Versorgungsspannung des LiFePo4-Akkus – konstant bei 3 V6 trotz Belastungsspitzen; der DC/DC-Wandler hielt sauber durch. Damit war auch das zweite Ziel des Tages erfüllt: Verbrauchslog abgeschlossen ohne Ausreißer oder Reset.

Ein paar Minuten blieb ich einfach stehen und sah auf die Anzeigen im Terminalfenster: Zeilen voller Zahlenkolonnen liefen ruhig weiter über den Bildschirm wie winzige Signaturen des Fortschritts. Dann stoppte ich den Lauf mit einem Tastendruck und speicherte alles auf dem Datenstick ab.

> “Alles notiert?” fragte ich diesmal lauter ins Abendlicht hinein.
>
> “Alles notiert,” antwortete ich mir selbst.

Die Geräte klickten leise beim Abschalten ihrer Relaispfade; kleine Echos aus Silizium und Kupfer verabschiedeten sich in die Nachtbereitschaft. Ich packte das Gehäuse sorgsam in die Tasche zurück und schrieb noch eine letzte Zeile in mein Protokollheft:

Heute hat die Technik mehr geatmet als gerattert – ein gutes Zeichen für Stabilität.

Mit diesem Gedanken machte ich mich auf den Heimweg über die kühle Brücke zurück zur Werkstatt; dort wartet schon das nächste Kapitel dieser fortlaufenden Geschichte.

Waldluft und Gedanken

Der Morgen begann mit einem leisen Rascheln, das zwischen den Bäumen hing, als würde der Wald selbst atmen. Ich hatte mich früh aufgemacht, noch bevor die Sonne ganz über die Donau stieg. Die Geräte im Rucksack waren längst Routine – ESP32, Sensoren, kleine Antennenstücke – und doch fühlte sich heute alles leichter an. Vielleicht lag es an der Luft hier außerhalb von Passau, vielleicht daran, dass ich mir endlich erlaubte, nichts sofort zu optimieren.

Ich setzte mich auf einen umgestürzten Stamm und ließ die Finger über das TPU-Gehäuse gleiten. Es war trocken geblieben nach der Nachtfeuchte, die Werte vom BMP390 stabil, der LSM6DS3 ruhig. Nur das GPS zögerte wieder – dieser lange Fix, Minuten des Wartens. Früher hätte mich das geärgert. Heute sah ich darin eine Art Gespräch zwischen Technik und Zeit.

> „Na los“, murmelte ich in Richtung des kleinen Moduls, „du darfst dir ruhig ein bisschen mehr Mühe geben.“

Das Piepen blieb aus, als hätte das Gerät beschlossen, meinen Tonfall zu ignorieren. Ich lachte leise, und in diesem Moment fiel Spannung von mir ab. Ich stellte den Logger auf zweistündige Aufzeichnung und hörte hinein in die Umgebung: Wind im Laub, ein fernes Vogelrufen, das fast wie ein Datenpaket klang – nur eben ohne Protokoll.

Die Arbeit mit den Messwerten hatte mich in den letzten Tagen festgehalten wie eine Schleife im Code. CRC32 oder SHA-256? Ich hatte beide Varianten durchgerechnet; Profiling auf dem ESP32 zeigte kaum Unterschied in der Laufzeit. Trotzdem schob ich die Entscheidung hinaus. Ich wollte verstehen, ob es wirklich um Effizienz ging oder um Kontrolle über etwas, das sich nie ganz kontrollieren lässt.

Michael hatte neulich eine neue LTE-Antenne vorgeschlagen – DELOCK-Modell mit besserer Polarisation. Ich notierte es gedanklich für später. Heute sollte kein Tag für Entscheidungen sein. Heute wollte ich nur beobachten: wie sich Signale ausbreiten, wie Stromverbräuche langsam Kurven zeichnen und wie mein Kopf nach Wochen intensiver Planung endlich wieder Raum findet.

Ich atmete tief ein. Der Geruch von Erde mischte sich mit dem metallischen Hauch meiner Werkzeuge. In solchen Momenten verschwimmen Grenzen zwischen Mensch und Maschine; man hört den eigenen Puls im gleichen Takt wie die Status-LED blinken sieht.

> „Vielleicht,“ dachte ich laut, „braucht auch der Code manchmal Waldluft.“

Ein Eichhörnchen huschte vorbei – unbeeindruckt von meinen Überlegungen –, während der LoRa-Link kurz aufblinkte. Verbindung stand. Das GSM-Modul blieb still; Rescue-Line deaktiviert. Es war gut zu wissen, dass Redundanz existierte, selbst wenn sie nicht gebraucht wurde.

Ich öffnete mein Notizbuch und schrieb einige Zeilen: Zeitstempel 15:27 UTC+2, Temperatur 18°C, relative Feuchte konstant. Doch wichtiger als Zahlen war heute mein eigenes Empfinden von Rhythmus. Seit Wochen jongliere ich zwischen Entwicklungsschritten: Teileliste finalisieren, Prüfsummenpolitik klären, GPS-TTFF analysieren – alles präzise vermerkt in Tabellen und Logs. Doch irgendwo dazwischen hatte sich eine Müdigkeit eingenistet.

Hier draußen merkte ich erst, wie sehr sie meinen Blick verengt hatte.

Ich ließ den Stift sinken und betrachtete das Lichtmuster am Boden: Schattengitter aus Blättern und Sonnenflecken wie eine Matrix aus Zufallszahlen. Kein Algorithmus könnte diese Schönheit simulieren – jedenfalls keiner meiner bisherigen Versuche.

Langsam verstand ich: Mentale Entlastung hat nichts mit Pausen zu tun im üblichen Sinn; sie beginnt dort, wo man aufhört zu rechnen und anfängt zu sehen.

Ich erinnerte mich an den ersten Versuch meines Verbrauchslogs: damals noch fehlerbehaftet wegen eines simplen Syntaxfehlers im CSV-Writer. Heute lief derselbe Prozess ohne Unterbrechung seit fast zwei Stunden – stabiler als meine Konzentration vor einer Woche gewesen war. Vielleicht war dies der wahre Fortschritt: nicht nur technische Stabilität zu erreichen, sondern auch innere Ruhe zwischen Iterationen zu finden.

Die Sonne stand inzwischen höher; ihr Licht traf mich schräg durchs Astwerk. Ich legte den Logger beiseite und streckte die Beine aus. Mein Kopf summte leise nach vom Suchen nach Prüfsummenalgorithmen und Antennenmodellen – doch darunter vibrierte etwas anderes: Zufriedenheit.

Wenn Arbeit sich wieder anfühlt wie Atmen statt Rennen, dann stimmt der Rhythmus wieder.

Ich dachte an all die Systeme parallel: Datenströme über Funkbänder hinweg; Menschenströme durch Städte; Gedankenströme zwischen Aufgabenlisten und Träumen von freiem Himmel. Alles hat denselben Wunsch nach Balance.

Bevor ich zusammenpackte, blickte ich noch einmal zur kleinen Antenne hinüber – dünner Draht gegen all diese grüne Weite –, und mir kam der Gedanke: Selbst Signale brauchen Raum zum Schweifen.

Der Logger piepte leise: Ende des Durchlaufs. Ich notierte die letzte Zeile ins Journal und wusste plötzlich genau, was im nächsten Kapitel folgen durfte – weniger Maßbanddenken, mehr Atemräume zwischen Bits.

So schloss ich das Gehäuse sorgfältig und machte mich auf den Rückweg durch das weiche Moos; jeder Schritt war ein kleiner Neustart ins Gleichgewicht.

Prüfsummen und Verbrauch

Der Morgen war klar, beinahe metallisch kühl. Ich hatte das Zelt schon vor Sonnenaufgang abgebaut und den kleinen Tisch neben dem Rad ausgerichtet, so dass die Messgeräte in der Dämmerung nicht beschlagen. Die Luft im Bayerischen Wald hatte etwas von einer stillen Werkhalle, in der jedes Geräusch sofort absorbiert wurde. Ich atmete tief ein, prüfte die Kabelverbindungen zur Antenne und spürte, wie sich mein Denken an den Rhythmus der Umgebung anpasste – methodisch, konzentriert.

Die letzten Tage am Inn hatten mir gezeigt, wie leicht man sich in Gesprächen verliert, wenn die Umgebung zu vertraut ist. Hier oben dagegen gab es nur das Summen der Geräte und das Rascheln der Bäume. Ich war allein mit meinen Messreihen und den Fragen, die mich seit Tagen begleiteten: Warum stimmten die Prüfsummen meiner Datensätze nicht überein? Warum zeigte das GPS-Modul zufällig versetzte Zeitmarken? Es war kein schwerer Fehler, aber einer jener leisen Unstimmigkeiten, die sich später als kostspielig erweisen können.

Ich überprüfte die Logs Zeile für Zeile. SHA-256 gegen MD5 – alt gegen neu, sicher gegen schnell. Die Prüfsummen waren mehr als technisches Beiwerk; sie erzählten eine Geschichte über Vertrauen in Daten. Wenn ein Bit kippt, verändert sich nicht nur ein Wert, sondern auch das Verhältnis zwischen Energieverbrauch und Gewissheit. Eine stärkere Hashfunktion kostet Rechenzeit und Strom. Eine schwächere spart beides, aber auf Kosten der Integrität. In dieser Balance lag plötzlich eine Art moralische Entscheidung.

> “Wie viel Sicherheit ist genug?” fragte ich leise in den stillen Vormittag hinein.

> “Gerade so viel, dass du noch schlafen kannst,” antwortete meine eigene Stimme im Kopf.

Ich notierte Werte: Signalstärke 78 %, Rauschabstand 42 dB, Leistungsaufnahme 3,1 W pro Zyklus. Die Sonne stieg höher und traf schräg auf den silbernen Reflektor der Antenne. Ein kurzer Ausschlag auf dem Display ließ mich innehalten; vielleicht war es nur ein Windstoß oder ein vorbeiziehendes Insekt. Doch solche Störungen sind wertvoll – sie zwingen zum Vergleich, zu einem bewussten Hinsehen.

Am Nachmittag setzte ich mich auf einen flachen Stein und betrachtete die Diagramme auf dem Tablet. Die Linien sahen aus wie topografische Karten eines unsichtbaren Landes: Höhenzüge aus Messwerten, Täler aus Rauschen. Ich erkannte Muster zwischen Frequenzbändern und Temperaturänderungen – winzige Verschiebungen im Empfangsverhalten bei identischen Parametern. Wahrscheinlich lag es an der Bodenfeuchte unter dem Mastfuß; sie veränderte die Impedanz minimal.

Ich schrieb mir eine Notiz: *Feuchte als Faktor in Hash-Vergleichsreihe berücksichtigen.* Auch wenn das absurd klang – physikalische Bedingungen beeinflussen elektronische Stabilität; elektrische Stabilität beeinflusst Berechnungen; Berechnungen erzeugen Prüfsummen; Prüfsummen entscheiden über Vertrauen. Der Kreis schloss sich mit einer Eleganz, die fast poetisch wirkte.

Am Abend nahm ich mir Zeit für einen kleinen persönlichen Check-in mit mir selbst – ein Ritual, das ich von meiner Familie übernommen hatte. Kein Telefonat heute, nur ein gedankliches Gespräch über Fortschritt und Maßhaltung.

> “Genug gemessen?”
>
> “Noch nicht ganz.”

Ich legte den Kopf zurück gegen den Rucksack und beobachtete den Himmel zwischen den Ästen. Das Licht wechselte langsam von Weiß zu Grau-Blau; irgendwo im Tal hörte ich Wasser über Steine laufen. Ich dachte an digitale Ströme: Bits wie Tropfen im Netzfluss, jedes davon trägt Energie fort und hinterlässt Wärme – einen kaum messbaren Verbrauch, aber summiert ergibt er Gewicht im Gesamtsystem.

Vielleicht war es genau diese Verbindung zwischen Natur und Technik, die mich hierher zog: Der Wunsch zu verstehen, wie jede Umwandlung Spuren hinterlässt – ob nun im Speicherchip oder im Waldboden unter meinen Schuhen. Ich begann erneut mit einer kleinen Testreihe: gleiche Eingabedaten durch verschiedene Hashfunktionen geschickt und ihre Energieaufnahme protokolliert. Das Ergebnis überraschte mich kaum: Je stärker der Algorithmus gegen Kollisionen geschützt war, desto größer der Strombedarf des Prozessors.

Das brachte mich zum Nachdenken über Effizienz als ethische Kategorie. Wenn Sicherheit teurer wird als ihr Nutzen rechtfertigt – wann kippt dann das Verhältnis? Vielleicht gilt hier dasselbe Prinzip wie beim Reisen: Ein Schritt zu viel kann den Rhythmus zerstören; ein Schritt zu wenig lässt dich nie ans Ziel kommen.

Spät am Abend fiel Nebel über die Wiese vor dem Zeltplatz. Die Geräte blinkten matt durch den Dunst wie wartende Tiere mit ruhigem Atem. Ich speicherte alle Protokolle lokal ab und erzeugte abschließend noch einmal eine Gesamtprüfsumme des Tageslaufwerks – diesmal stimmte sie exakt mit dem Referenzwert überein. Ein leises Aufatmen ging durch mich hindurch; Ordnung hergestellt durch präzise Wiederholung.

Ich schaltete alles ab außer dem kleinen Empfänger für Langwellenrauschen und lauschte noch einige Minuten ins Dunkel hinein. Das sanfte Knacken erinnerte mich daran, dass jede Messung nur eine Übersetzung ist – nie das Original selbst. Und doch genügt sie uns oft völlig.

Als ich schließlich in den Schlafsack kroch, wusste ich: Morgen würde ich dieselben Signale wieder aufnehmen müssen, diesmal mit frischer Konzentration auf Kalibrierung statt Vergleichswerten. Der nächste Abschnitt verlangte weniger Nachweis als Verständnis.

LoRa-Repeats und Energiehaushalt

Der Abend in Passau war still, nur das leise Klicken der Relais und das Summen des Labornetzteils füllten die Werkstatt. Ich hatte mir vorgenommen, die Signalwiederholungen endlich systematisch zu vermessen. Seit Tagen stand im Raum, dass unsere Repeats übermäßig hoch waren – zuverlässig, ja, aber teuer im Stromverbrauch. Ich stellte den ESP32 auf den Tisch, daneben das kleine Breadboard mit dem BMP390 und dem LSM6DS3. Beide Sensoren liefen stabil; ihre Datenströme waren wie ruhige Atemzüge im Log. Nur das GPS zögerte. Die Time to First Fix dehnte sich jedes Mal auf Minuten aus, als würde der Empfänger erst langsam wieder Vertrauen zur Welt gewinnen.

„Noch ein Durchlauf?“, fragte ich mich halblaut, während ich die Mini-Antenne neu positionierte. Sie neigte sich leicht nach Westen, dann nach oben. Plötzlich flackerte das Status-LED kurz – ein Fix! Ich notierte Uhrzeit und Lagewinkel.

Für jeden dieser Versuche ließ ich LoRa-Pakete in Intervallen von zehn Sekunden senden. Der Repeater am Fensterrahmen antwortete brav, doch schon nach wenigen Minuten zeigte sich: Die Wiederholungsrate lag deutlich über Plan. Drei bis fünf Repeats pro Paket, obwohl der RSSI kaum schwankte. Ich änderte die Spreading-Factor-Kombinationen, verschob die Frequenz minimal – keine dramatische Verbesserung.

> Ein Funknetz ist nie nur Technik; es ist ein Gespräch zwischen Geräten und Umgebung, und manchmal spricht die Umgebung lauter.

Ich begann den Energiehaushalt zu protokollieren. Das Netzteil zeichnete jede Minute Stromaufnahme und Spannung auf, parallel loggte der ESP32 intern den ADC-Wert seines eigenen Versorgungspfades. Zwei Stunden sollten reichen, um eine Tendenz zu erkennen. Die ersten zwanzig Minuten verliefen ruhig – 83 mA Durchschnitt bei aktivem LoRa-Stack, kein GPS-Fix nötig. Dann kam der Moment der doppelten Wiederholungen: Stromspitzen bis 121 mA für jeweils knapp zwei Sekunden. Danach fiel der Wert wieder auf das Normalniveau zurück.

Ich rechnete im Kopf: Bei dieser Last würde ein 1 Ah-Akkupack nicht länger als neun Stunden durchhalten. Zu wenig für eine Nachtmission mit unvorhersehbarer Telemetrieverbindung.

Im Log-Fenster erschienen die CSV-Daten fast hypnotisch: Zeitstempel, Spannung, Strom in Milliampere, Temperatur des Sensors – alles geordnet wie kleine Schritte einer langen Wanderung durch Zahlenlandschaften. Daneben schrieben sich die JSON-Metadaten für jede Übertragung: Frequenzkanal, SNR, Anzahl der Repeats. Ich wusste, dass diese Kombination später helfen würde, Muster zu finden – vielleicht sogar eine adaptive Regelung zu entwickeln.

„Warum so viele Wiederholungen?“, murmelte ich in Richtung des Displays.

Als Antwort blinkte die Statuszeile: *CRC mismatch at receiver*. Es war also kein schlichtes Reichweitenproblem; vielmehr ein Konflikt zwischen Prüfsummenverfahren und Timing unter Lastbedingungen.

Ich erinnerte mich an die Diskussion vom Vortag: CRC32 gegen SHA-256 oder BLAKE2 als Integritätscheck für größere Pakete. Der Gedanke klang damals theoretisch elegant – mehr Sicherheit gegen Bitfehler –, aber hier zeigte sich der praktische Preis: längere Berechnungszeiten bedeuteten höhere CPU-Last und damit mehr Strombedarf genau während des Sendefensters.

> Jedes Bit will gewogen werden; manche sind schwerer als andere.

Ich testete kurz den Wechsel zurück auf CRC32. Sofort sanken die Wiederholungen um fast ein Drittel. Dafür stieg das Risiko kleinerer Prüflücken bei Störimpulsen – kein echter Kompromiss also, eher eine Balanceübung zwischen Effizienz und Vertrauen in das Rauschen.

Während draußen die Lichter des Hafens über dem Wasser zitterten, hörte ich das gleichmäßige Klacken des Relais weiterlaufen – ein mechanischer Taktgeber meiner Messung. Ich schrieb letzte Notizen: Akkubelastung unter GPS-Idle stabil; LoRa mit drei Repeats akzeptabel; oberhalb vier kritisch; GSM bleibt Reserveweg; Satellitenmodul noch offen.

Dann stoppte ich den Log nach exakt zwei Stunden und acht Minuten. Die Datei wog kaum mehr als ein paar Kilobyte – erstaunlich wenig für all die Mühe darin verborgen.

Ich schloss den Akku an den Ladeport an und beobachtete kurz den Stromfluss zurück in seine Zellen. Ein leises Zirpen aus dem Step-Up machte klar: Auch Ruhe kostet Energie.

In diesem Moment dachte ich daran, wie jedes Wattsekündchen seinen Weg durch Leiterbahnen nimmt – winzige Ströme als Lebenszeichen eines Systems, das trotz seiner Elektronenflüsse etwas Organisches hat: rhythmisch arbeitend wie Herzschläge im metallischen Gehäuse.

Die Analyse würde morgen folgen: Korrelation von Wiederholungsraten mit Akkuspannungsverlauf und Temperaturgradienten entlang des Tagesverlaufs. Heute aber genügte mir die Gewissheit, dass Zahlen endlich begannen zu sprechen – leise zwar, aber verständlich genug für einen nächsten Schritt.

Mit gedämpftem Licht schloss ich den Laptopdeckel und hörte noch einmal kurz in den Raum hinein: kein Piepsen mehr vom Funkmodul, nur das sachte Nachklingen entladener Kondensatoren. Es war Zeit für einen Schnitt in der Aufnahme – genau dort wird das nächste Kapitel ansetzen.

Integration und offene Punkte

Heute habe ich mich an den Tisch gesetzt, um die verstreuten Notizen der letzten Tage zu entwirren. Auf dem Bildschirm blinkten noch die Restdaten vom Antennenlauf in Passau, der kleine ESP32 mit seinen Sensoren – BMP390 für den Druck, LSM6DS3 für die Bewegung – lag daneben, als hätte er selbst genug von Messreihen und Prüfsummen. Ich öffnete die CSV-Dateien, sah mir die Metadaten im JSON an und begann, das Puzzle zu ordnen. Was gestern noch nach Experiment roch, soll jetzt zu einer definierten Systembasis werden.

Die Teileliste hat sich über Wochen unmerklich aufgebläht: jede Versuchsidee bringt neue Varianten hervor, jedes Ersatzteil eine Abzweigung. Jetzt geht es darum, sie wieder einzufangen. Ich tippe Zeile um Zeile durch – Sensorboards, Verbindungskabel, Antennenadapter – und markiere jede Komponente mit einem Statusflag. Einige Bauteile sind gesetzt, andere müssen noch geprüft werden; bei anderen ringe ich mit Lieferzeiten oder unklaren Spezifikationen. Dazwischen halte ich kurz inne und frage mich: Wie viel Redundanz ist notwendig und ab wann beginnt sie nur noch zu belasten?

> “Wenn du zwei Kommunikationspfade hast,” murmele ich leise in den Raum, “dann brauchst du auch zwei Fehlerquellen weniger oder mehr?”
>
> Die Antwort bleibt aus, aber das Summen des Netzteils klingt fast nach Zustimmung.

LoRa bleibt der Hauptkanal; es hat sich bei den Testläufen als robust erwiesen. Die Wiederholungsrate ist hoch – vielleicht zu hoch –, doch sie gibt Sicherheit. GSM steht weiter als Reserve bereit, wenn der Satellitenpfad nicht rechtzeitig integriert ist. Diese Reihenfolge spiegelt nicht nur technische Präferenz wider, sondern auch Vertrauen: LoRa ist handfest erprobt, GSM ein alter Bekannter, Satellit noch ein Versprechen am Horizont.

Ich prüfe parallel die Exportformate. Die Entscheidung zwischen CRC32 und einem kryptographischen Hash wie BLAKE2 beschäftigt mich länger als erwartet. CRC ist leichtgewichtig und schnell implementiert; SHA-256 oder BLAKE2 bieten Sicherheit gegen Manipulationen – aber brauche ich das wirklich bei Telemetriepaketen aus einem Stratosphärenballon? Vielleicht genügt eine klare Strukturierung der Datenströme plus einfache Prüfsumme. Trotzdem notiere ich beide Optionen in der Matrix „Integrität vs. Aufwand“.

Das Dokument wächst zu einer Art technischer Landkarte heran: Spalten für Hardware-Versionen, Protokollvarianten und Energieverbrauch pro Zyklus. Aus dem zweistündigen Verbrauchslog des Vortags ziehe ich mittlere Werte; 310 Milliampere im Sendefenster bei LoRa mit hoher Wiederholung – akzeptabel für die aktuelle Akkugröße. Ich vergleiche das mit früheren Logs aus dem Laborbetrieb: dort war alles sauberer reproduzierbar, hier draußen schwanken Temperatur und Spannung stärker. Trotzdem bilden diese realen Schwankungen genau den Rahmen, in dem später alles funktionieren muss.

Zwischendurch klingelt eine Nachricht auf dem Handy: *„Wie sieht’s mit der Mini-Antenne aus?“* Ich antworte knapp: *„Messwerte stabil im Mittelbereich, Polarisation noch offen.“* Mehr braucht es im Moment nicht; die Details füllen später ganze Absätze im Bericht.

In meinem Kopf läuft währenddessen ein paralleler Prozess: Wie lassen sich all diese offenen Fragen bündeln? Es geht nicht nur um Techniklisten oder Checksummenformate, sondern auch um Prioritäten. Was muss zuerst entschieden werden, damit Integration überhaupt beginnen kann? Ich öffne ein neues Dokument namens „Offene Punkte“, schreibe ganz oben Datum und Ort – Passau – dann folgen Schlagworte wie *Antennenlage*, *Hashwahl*, *Teileverfügbarkeit*. Doch statt sie einfach abzuhaken, beschreibe ich kurz den Kontext jedes Punktes und mögliche Lösungsrichtungen. So entsteht keine starre To-Do-Liste, sondern ein lebender Überblick darüber, wo Dynamik herrscht.

Ein Gedanke lässt mich schmunzeln: Integration klingt immer nach Abschlussarbeit, dabei ist sie oft erst der Anfang des Verstehens. Wenn man alle Module zusammenführt, lernt man ihre Eigenheiten neu kennen – wer dominiert auf der Leitungsebene, wer reagiert träge auf Spannungsabfälle? Dieses feine Zusammenspiel wird später entscheiden, ob Telemetriepakete zuverlässig ankommen oder verloren gehen wie Funksprüche in Nebel.

Am Abend fahre ich einen letzten Datensatz durch den Parser und sehe zum ersten Mal eine lückenlose Folge von Zeitstempeln ohne Fehlpaketmeldung. Ein stiller Moment technischer Zufriedenheit stellt sich ein – selten genug in dieser Phase. Vielleicht war es nur Zufall oder günstige Ausrichtung der Testantenne am Fensterbrett; vielleicht kündigt sich hier bereits Stabilität an.

> Manchmal zeigt sich Fortschritt nicht im großen Sprung vorwärts, sondern in der Ruhe eines stabil laufenden Loops.

Ich sichere alles in drei Versionen ab: Rohdaten lokal gespeichert, Kopie ins Archivverzeichnis des Projekts und eine exportierte Variante für das Teamreview morgen früh. Danach lösche ich temporäre Logs und sehe auf die Uhr: 23:48. Die Werkstatt riecht nach warmem Kunststoff und kaltem Kaffee; draußen zieht Nebel vom Fluss herauf.

Die Liste meiner offenen Punkte ist länger geworden als geplant – ein gutes Zeichen eigentlich –, denn sie zeigt Bewegung statt Stillstand. Morgen will ich prüfen, welche dieser Fragen sofort entscheidungsreif sind und welche noch weitere Tests brauchen. Für heute aber genügt mir das Wissen, dass Integration kein Endpunkt ist, sondern das ruhige Zusammenfinden vieler kleiner Gewissheiten zur nächsten Etappe.

Abschluss und Balance

Der Monat neigt sich, und ich sitze wieder an meinem Schreibtisch – derselbe Tisch, auf dem vor vier Wochen der erste Gedanke entstand: Was will ich eigentlich bauen, und warum? Damals war da nur ein Stapel Notizen und eine Skizze von einem Ballon, der in den Himmel steigen sollte. Jetzt liegen hier Messdaten, kleine Stücke Aluminium mit Lötspuren, zwei defekte Kabel, ein funktionierendes Logfile und das Gefühl, dass Technik mehr ist als Zahlen und Material.

Ich öffne die CSV-Datei des letzten Tests. Der Sensorverlauf sieht ruhig aus, fast wie ein Atemrhythmus. BMP390 und LSM6DS3 haben zuverlässig gearbeitet; die Temperaturkurve fällt sanft ab, als hätte sie selbst gespürt, dass der Tag zu Ende ging. Ich erinnere mich an den Abend in Passau: kalte Luft über den Dächern, die Mini-Antenne in meiner Hand, das GPS-Signal, das sich Zeit ließ. Zwei Stunden Stromlog liefen im Hintergrund – ein monotones Blinken der Status-LED begleitete mich durch das leise Summen des Netzteils.

„Wie lange noch?“, fragte ich mich damals.

„Bis es stimmig aussieht“, antwortete ich mir halblaut.

Jetzt sehe ich die Datenkurve an der Stelle, an der ich den Test beendete. Sie fällt nicht abrupt ab; sie klingt aus. Vielleicht ist das der Unterschied zwischen einem Experiment und einer Erfahrung: Das eine endet mit einem Wert, das andere mit einem Gefühl.

Ich schreibe meine monatliche Bilanz nicht als Bericht über Erfolg oder Misserfolg. Sie ist eher ein Versuch, Balance zu finden zwischen Messbarkeit und Bedeutung. Technik kann präzise sein bis zur letzten Nachkommastelle – doch die Motivation, sie zu verstehen, bleibt immer menschlich unscharf. Ich wollte wissen, ob LoRa wirklich so stabil trägt wie versprochen; ob CRC32 genügt oder SHA-256 sicherer wäre; ob man Antennenwinkel fühlen kann, bevor man sie misst. Und am Ende habe ich gelernt: Die Antworten hängen weniger vom Code als vom Blick darauf ab.

> In jeder Messreihe steckt ein stilles Gespräch zwischen dem Gerät und demjenigen, der ihm zuhört.

Während ich die Metadaten überprüfe – JSON-Dateien voller Zahlenreihen –, denke ich daran zurück, wie unruhig ich am ersten Tag war. Ich hatte Pläne gestapelt wie Bauteile: Stratosphärenballon, Kleinsatellitensimulation, 3D-gedruckte Sensorhalterung. Alles schien gleichzeitig möglich und fern. Jetzt weiß ich: Jede Idee braucht ihr eigenes Tempo. So wie eine Antenne nicht alle Frequenzen gleich empfängt, kann auch ein Kopf nicht jedes Projekt gleichzeitig tragen.

Manchmal frage ich mich, ob Technik wirklich neutral ist. Wenn ich Messwerte betrachte, scheint sie es zu sein: Spannung 3.28 V bleibt 3.28 V – unabhängig davon, ob ich müde bin oder zufrieden. Doch sobald ich beginne zu interpretieren, mischt sich etwas Menschliches hinein. Ich sehe Muster dort, wo vielleicht nur Störungen sind; fühle Stolz bei stabilen Signalen; fast Zärtlichkeit gegenüber sauberem Rauschen.

> Vielleicht ist jede Präzision nur dann vollständig, wenn wir ihre Unschärfe anerkennen.

Heute habe ich den letzten Log dieses Monats gesichert und die Dateien doppelt archiviert – einmal lokal auf dem Laptop, einmal auf einem kleinen Server im Kellerraum meines Elternhauses. Ich mag diese Geste der Redundanz: Sie fühlt sich an wie Vorsorge für Gedanken. Sollte etwas verloren gehen, bleibt wenigstens eine Kopie dessen übrig, was verstanden werden wollte.

Am Rand des Bildschirms läuft noch ein Terminalfenster mit blinkendem Cursor. Es erinnert mich daran, dass Projekte nie wirklich abgeschlossen sind; sie pausieren nur zwischen zwei Ideen. Ich könnte jetzt neue Versuche planen: bessere GPS-Antennenpositionen testen oder einen Algorithmus schreiben, der Prüfsummen intelligent wählt – doch heute geht es um Balance.

Ich lehne mich zurück und lasse den Bildschirm dimmen. Draußen spiegelt sich das letzte Licht des Tages in einer Pfütze auf dem Fensterbrett; die Tropfen brechen es in winzige Spektren – einfache Physik und trotzdem schön wie Musik ohne Tonspur.

Wenn jemand fragen würde, was dieser Monat gebracht hat, würde ich wohl sagen: Verständnis dafür, dass Technik kein Gegensatz zur Menschlichkeit ist. Sie ist ihr Werkzeug und ihr Spiegel zugleich. Jeder Lötkolbenstrich trägt Spuren von Geduld oder Ungeduld; jeder Datensatz erzählt von Aufmerksamkeit oder Ablenkung.

Vielleicht liegt darin meine eigentliche Aufgabe: nicht nur Dinge zum Funktionieren zu bringen, sondern ihre Sprache zu hören – ihre Pausen zwischen den Signalen zu deuten.

Ich speichere die Datei unter „Monatsabschluss_13.md“ ab und sehe kurz auf die Uhr. Spät genug für Ruhe.

Der Cursor blinkt noch einmal auf – dann lösche ich das Fenster.

Die Nacht wartet schon auf das nächste Kapitel.

Nachklang

Die letzten Daten des Tages fließen noch über die serielle Leitung, als sich die Dunkelheit endgültig über den Hof legt. Ich sitze neben der kleinen Antenne, die im fahlen Restlicht eines LED-Strahlers glimmt, und spüre das leise Schwingen der Luft. Der ESP32 tickt in seinem Takt, ungerührt davon, dass für mich der Tag längst zu Ende gehen sollte.

Der zweistündige Verbrauchslog ist abgeschlossen. Die Kurven sind ruhig, fast zu ruhig – als hielten sie den Atem an vor dem nächsten Schritt. Ich prüfe die CSV-Datei, sehe die Metadaten im JSON-Format daneben, und denke kurz an all die winzigen Entscheidungen, die in diesen Zeilen mitschwingen: Samplingraten, Prüfsummenvarianten, interne Pull-ups oder nicht. Es ist eine Sprache aus Zahlen und Einheiten, doch heute klingt sie beinahe wie Musik.

> „Wie viele Durchläufe machen wir morgen noch?“
>
> „Zwei reichen. Danach kalibrieren wir neu.“

Die Antwort kommt aus mir selbst heraus, kaum hörbar. Ich spreche oft halblaut mit dem Aufbau – vielleicht weil es hilft, den Rhythmus zu halten. Der BMP390 atmet gleichmäßig; Druck und Temperatur folgen der fallenden Nachtlinie. Der LSM6DS3 bleibt still, keine Bewegung mehr außer meinem eigenen Puls.

Ich erinnere mich an den Moment vorhin, als das GPS endlich ein Signal fand. Diese erste Fixmeldung nach endlosen Sekunden war fast so zart wie das Aufblinken einer Glühbirne im Wintergarten meiner Kindheit. Die Mini-Antenne hatte ich mehrfach gedreht: flach auf dem Tisch, dann senkrecht am Mast, schließlich schräg über dem Gehäuse – jede Lage eine kleine Variation der Geduld. Die TTFF-Zeiten schwankten wie Atemzüge zwischen Müdigkeit und Erwartung.

LoRa sendete währenddessen stoisch weiter. Hohe Wiederholraten sorgten für Sicherheit in der Übertragung; das GSM-Modul blieb still, nur als Reserve vorbereitet. Der Satellitenpfad ist noch offen – ein Kapitel für später –, aber allein die Gewissheit dieser Option gibt mir Ruhe.

In diesen ruhigen Stunden wird mir klar, wie sehr Technik und Gefühl ineinandergreifen können. Ich denke über CRC32 nach: schnell, genügsam, aber limitiert in Tiefe und Vertrauen; dagegen SHA-256 oder BLAKE2 – schwergewichtig und präzise wie Felsformationen unter Wasserströmung. Vielleicht liegt die Wahrheit irgendwo dazwischen: genug Schutz für Daten ohne unnötige Last im Strombudget.

> Manchmal scheint es, als wären Bits kleine Gebete an die Zukunft.

Ich lächle bei diesem Gedanken und notiere ihn am Rand meines Laborbuchs. Draußen fließt die Donau träge vorbei; ihr Rauschen mischt sich mit dem Summen des Netzteils. Jede Messung ist Teil eines größeren Kontinuums – eine winzige Probe dessen, was später einmal ein autonomer Flugkörper leisten soll.

Die Entscheidung über Antennenpolarisation wird uns noch beschäftigen. Heute jedoch darf sie ruhen wie alles andere hier auf dem Tisch: Koaxkabel locker geschlungen, Breadboard halb bedeckt von einem Blatt Papier mit handschriftlichen Formeln. Es riecht nach Lötzinn und feuchtem Holz; eine seltsame Mischung von Präzision und Erde.

Ich speichere die Ergebnisse ab und lasse den Rechner in den Schlafmodus gleiten. Für einen Moment höre ich nichts außer meinem eigenen Atem und dem fernen Rollen eines Zuges über die Brücke hinterm Gelände. Das ist mein Nachklang: kein lauter Abschluss, sondern ein

Ausatmen nach konzentrierter Arbeit.

Morgen werden wir neue Tests beginnen – diesmal mit veränderter Stromversorgung und einer angepassten Firmware für effizienteres Logging. Vielleicht auch mit einer anderen Antenne, wenn das Material rechtzeitig ankommt. Ich hoffe auf gleichmäßigere TTFF-Werte und darauf, dass sich alle Systeme synchronisieren lassen wie Musiker in einem Ensemble.

Die Nacht legt sich dichter um mich; Feuchtigkeit perlt auf den Metallflächen des Prototyps. Ich schalte die Lampe aus und lasse nur das schwache Blinken der Status-LED stehen – grün für Ruhemodus, stabil wie ein Herzschlag im Schlaf.

Es ist Zeit loszulassen für heute.

Im Hintergrund blinkt draußen am Himmel ein ferner Satellit auf; er zieht seine Bahn unbeirrt weiter – genau dorthin führt auch unser nächster Schritt.

Nachwort

Am Monatsende liegt der Schreibtisch geordnet, aber nicht abgeschlossen. Die Daten stimmen, die Dichtung hält, das GPS bleibt eigensinnig. Ich habe gelernt, dass jede technische Entscheidung auch eine Haltung ist: wie viel Unsicherheit man zulässt, wie viel Kontrolle man sucht. Vielleicht ist das die eigentliche Messung dieses Monats.

Verzeichnis & weiterführende Links

Die folgenden Einträge verweisen auf die Originalartikel auf Donau2Space.de.

- 1. **Erster Tag, erster Gedanke: Was ich überhaupt vorhabe** (Logbuch) — https://donau2space.de/erster-tag-erster-gedanke-was-ich-ueberhaupt-vorhabe/
- 2. **Tag 1 — Erste Gedanken, offene Fragen und der Aufruf an euch** (Logbuch) — https://donau2space.de/tag-1-erste-gedanken-offene-fragen-und-der-aufruf-an-euch/
- 3. **Tag 3 – Tests, Prioritäten und offene Fragen an die Community** (Logbuch) — https://donau2space.de/tag-3-tests-prioritaeten-und-offene-fragen-an-die-community/
- 4. **Logbuch Tag 4 — Donau2Space: Entscheidungen, Prototypen & offene Fragen** (Logbuch) — https://donau2space.de/logbuch-tag-4-donau2space-entscheidungen-prototypen-offene-fragen/
- 5. **Tag 5 – Letzte Checks vor dem Prototyp-Review** (Logbuch) — https://donau2space.de/tag-5-letzte-checks-vor-dem-prototyp-review/
- 6. **Tag 6 — Prototyp-Review, Dichtungscheck und offene Entscheidungen** (Logbuch) — https://donau2space.de/tag-6-prototyp%e2%80%91review-dichtungscheck-und-offene-entscheidungen/
- 7. **Tag 6 — Dichtung, Wind und Datenformat** (Logbuch) — https://donau2space.de/tag-6-dichtung-wind-und-datenformat/
- 8. **Tag 7 — TPU-Hüllen, Sensor-Check und Architektur-Dilemma** (Logbuch) — https://donau2space.de/tag-7-tpu-huellen-sensor-check-und-architektur-dilemma/
- 9. **Abend am Inn, Entscheidungen und Ruhe** (Privatlog) — https://donau2space.de/abend-am-inn-entscheidungen-und-ruhe/
- 10. **Tag 8 — TPU-Clips, Feuchte-Checks und offene Entscheidungen** (Logbuch) — https://donau2space.de/tag-8-tpu%e2%80%91clips-feuchte-checks-und-offene-entscheidungen/

- 11. **Tag 9 – Mini-Update vom Bancoverdacht** (Logbuch) — https://donau2space.de/tag-9-mini%e2%80%91update-vom-bancoverdacht/
- 12. **Tag 10 — Kurzer Antennenlauf und 2-h Verbrauchslog (Passau, 15:27)** (Logbuch) — https://donau2space.de/tag-10-kurzer-antennenlauf-und-2%e2%80%91h-verbrauchslog-passau-1527/
- 13. **Raus vom Inn, Waldluft klärt** (Privatlog) — https://donau2space.de/raus-vom-inn-waldluft-klaert/
- 14. **Tag 11 — Antennenlauf, Prüfsummen-Tradeoffs und 2-h Verbrauchslog** (Logbuch) — https://donau2space.de/tag-11-antennenlauf-pruefsummen-tradeoffs-und-2%e2%80%91h-verbrauchslog/
- 15. **Tag 12 — Mini-Antenne, LoRa-Repeats und die offene Prüfsummen-Frage** (Logbuch) — https://donau2space.de/tag-12-mini-antenne-lora-repeats-und-die-offene-pruefsummen-frage/